Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 23, No. 2, Summer 2025, p. 149-170

Drought Risk Assessment by Applying Drought Hazard and Vulnerability Indices for Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) (Case study: North Khorasan and Razavi Khorasan)

H. Latifi[1], S. Khorramdel[1*], A. Koocheki[1], M. Bannayan Aval[1], M. R. Farzaneh Belgredi[2]

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Khorasan Razavi Agricultural Bank, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author's Email: khorramdel@um.ac.ir)

Received: 26 June 2024 Revised: 26 August 2024 Accepted: 31 August 2024 Available Online: 11 March 2025	**How to cite this article:** Latifi, H., Khorramdel, S., Koocheki, A., Bannayan Aval, M., & Farzaneh Belgredi, M. R. (2025). Drought Risk Assessment by Applying Drought Hazard and Vulnerability Indices for Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) (Case study: North Khorasan and Razavi Khorasan). *Iranian Journal of Field Crops Research, 23*(2), 149-170. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88691.1334

Introduction

The assessment of risks in the agricultural sector serves as the foundation for developing risk management strategies. This is achieved through the analysis, identification, and prioritization of risks. It also acts as a tool to assist decision-makers in the agricultural sector to comprehend, confront, and manage risks, while identifying potential mitigation, transfer, and response mechanisms. Furthermore, it can be utilized to establish effective risk management strategies. There are several approaches to assess drought vulnerability and risk, with these two critical components being calculated using various indicators in different studies. The vulnerability index comprises exposure, sensitivity, and adaptive capacity as its major components. These elements significantly influence studies that utilize vulnerability indices to investigate the impacts of climate change and natural disasters. Therefore, the primary objective of this study was to evaluate the risks associated with wheat production, with a specific focus on vulnerability indices.

Materials and Methods

This study investigated drought risk, drought vulnerability, and drought hazard in Northeast Iran (North Khorasan and Razavi Khorasan provinces) on rainfed wheat production during 2009-2018. Exposure, sensitivity, and adaptive capacity determine the agricultural drought vulnerability. Two parameters of soil water holding capacity and level of mechanization were considered effective adaptive capacity factors in reducing the negative effects of drought on rainfed wheat production. The Combined Compromise Solution (CoCoSo) method was used to solve the multi-criteria agricultural drought vulnerability index problem.

Results and Discussion

Results showed that among the 12 counties in Khorasan provinces, three are exposed to low drought vulnerability, 3 to moderate drought vulnerability, and 6 are highly or very high vulnerable. Counties with less drought vulnerability have a high score in terms of the adaptive capacity index, attributed to the high water-holding capacity of the soil in these areas. Drought hazard is primarily influenced by the weight and severity of

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88691.1334

SPI, with regions in the very high drought hazard classes mostly located in North Khorasan. In general, rainfed wheat is produced with low and medium risk in 11 counties of North Khorasan and Razavi Khorasan provinces. The lowest risk of dry wheat production was in Farouj (located in North Khorasan), and the highest risk is related to Sarakhs (in Razavi Khorasan).

Conclusion

Risk, as a fundamental factor of food insecurity, traps millions of households in poverty each year. The rising frequency and intensity of climate-related risks, driven by climate change, exacerbate cycles of damage and recovery while amplifying uncertainty. Arid regions face many of the same risks as other areas; however, challenges such as water scarcity, drought, desertification, and extreme temperatures are more acute in these regions, with far-reaching adverse effects. In arid and semi-arid regions, many production systems may disappear in the future. Therefore, risk assessment within the agricultural sector becomes crucial to quantify both the quantity and quality of risk while examining the potential consequences of a potential incident. This approach is critical for understanding, confronting, and identifying appropriate strategies to mitigate, transfer, and manage these risks. It provides valuable insights to decision-makers in the agricultural sector and serves as a basis for developing appropriate risk management solutions. Considering the undeniable impact of climate change on agriculture in arid and semi-arid regions, the dependence on available soil water and level of mechanization, components of the adaptive capacity index in this study, may no longer be sufficient. Hence, it is essential to explore alternative methods, including crop improvement, to reduce vulnerability to drought. In this respect, technologies such as soil cover applications and nutrient management can significantly contribute to reducing vulnerability to drought.

Acknowledgment

This project related to the Ph.D. thesis was financially supported by the Vice President for Research of the Faculty of Agriculture at Ferdowsi University of Mashhad.

Keywords: Adaptive capacity, Agricultural risk, CoCoSo method, Exposure index

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۱۷۰-۱٤۹

ارزیابی ریسک خشکسالی گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری و مخاطره خشکسالی (مطالعه موردی: استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی)

هدا لطیفی[۱]، سرور خرم‌دل[۱*]، علیرضا کوچکی[۱]، محمد بنایان اول[۱]، محمودرضا فرزانه بلگردی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ‌پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

چکیده

مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند سایر مناطق در معرض انواع ریسک‌ها قرار دارند، امّا ریسک‌هایی نظیر خشکسالی با شدت بیشتری این مناطق را تهدید می‌نماید. در این مطالعه به بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری و مخاطره به‌عنوان مؤلفه‌های ریسک خشکسالی در مناطق مستعد تولید گندم دیم در شمال شرق ایران (هفت شهرستانِ استان خراسان رضوی و پنج شهرستانِ استان خراسان شمالی) طی سال‌های زراعی ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶ پرداخته شده است. شاخص آسیب‌پذیری نوعی شاخص ترکیبی است که حساسیت، در معرض قرار گرفتن و ظرفیت تطابق‌پذیری سه جزء تعیین‌کننده آن می‌باشند. در این مطالعه، ظرفیت تطابق‌پذیری تحت تأثیر دو عامل ظرفیت نگهداری آب خاک و سطح مکانیزاسیون می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که در ۱۱ شهرستان و یا به‌عبارتی در ۹۲ درصد از شهرستان‌های مورد مطالعه، گندم دیم با ریسک کم تا متوسط تولید می‌شود. میزان ریسک خشکسالی تولید گندم دیم در شهرستان سرخس زیاد و در شش شهرستان (فاروج، کلات، درگز، قوچان، نیشابور و تربت‌حیدریه) کم می‌باشد. شهرستان‌های مذکور از نظر شاخص آسیب‌پذیری در رده کمتر آسیب‌پذیر تا آسیب‌پذیر قرار دارند، همچنین میزان ظرفیت تطابق‌پذیری در این شش شهرستان زیاد است که دلیل عمده آن ظرفیت بالای نگهداری آب خاک می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بیشتر شهرستان‌هایی که شاخص مخاطره خشکسالی در آن‌ها خیلی زیاد است، در استان خراسان شمالی واقع‌شده‌اند، ولی این شاخص در شهرستان‌های فاروج، درگز و قوچان کم می‌باشد. ارزیابی ریسک در فرآیند مدیریت ریسک و اتخاذ راهکارهای هوشمندانه در این حوزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده که پرداختن به آن می‌تواند کمک مؤثری به امنیت غذایی و توسعه پایدار نماید.

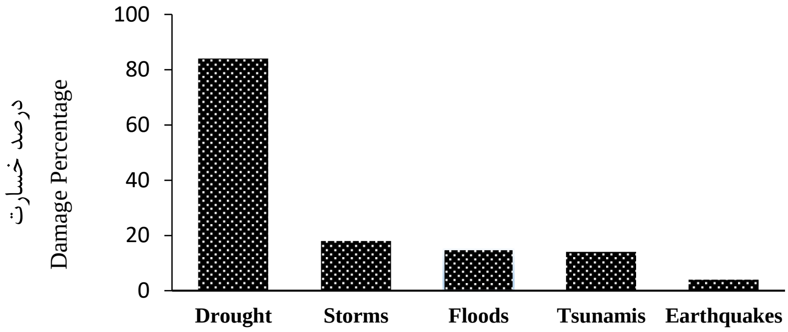
واژه‌های کلیدی: روش کوکوسو، ریسک کشاورزی، شاخص در معرض قرارگیری، ظرفیت تطابق‌پذیری

مقدمه

ریسک واژه‌ای فرانسوی است که در فرهنگ‌نامه وبستر، احتمال ضرر و زیان جانی و مالی تعریف شده است. ریسک فرآیندی وابسته به زمان بوده و ازآنجاکه آثار آن در آینده ظاهر می‌شود، گذشت زمان بر میزان شناخت انسان درباره آن تأثیر می‌گذارد (Habibi, Azizi, & Shal, 2017). قربانی (Ghorbani, 2017) ریسک کشاورزی را رویدادها یا شرایط غیرقطعی تعریف نموده که در صورت رخداد، اثر مثبت یا منفی بر هدف فعالیت کشاورزی خواهد گذاشت. تجزیه و تحلیل متون در زمینه ریسک در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که ارزیابی و مدیریت آن در این بخش دشوار است (Hardaker, Lien, Anderson, & Huirne, 2004; Ladányi, 2003) و هرگونه ناهنجاری در این شرایط می‌تواند علاوه‌بر کاهش تولید، زمینه را برای سایر مشکلات از جمله محدودیت در تأمین مواد غذایی و مسائل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی فراهم آورد (Gravandi & Alibeygi, 2011). کاهش ریسک تولید مواد غذایی متأثر از تغییرات اقلیمی از چالش‌های بزرگ قرن بیست و یکم است (Lobell, Schlenker, & Costa-Roberts, 2011). امکان بروز انواع جدیدی از پدیده‌های حدی، چالش آینده بخش کشاورزی خواهد بود و بسیاری از نظام‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک در آینده‌ای نزدیک

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- بانک کشاورزی خراسان رضوی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88691.1334

محکوم به حذف خواهند بود. در شکل ۱، زیان و خسارت وارده به بخش کشاورزی ناشی از عوامل آب‌وهوایی طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۳ میلادی در کشورهای در حال توسعه نشان داده شده است که بیشترین خسارت وارده به این بخش مربوط به خشکسالی با سهم ۸۴ درصدی است. در این کشورها، خسارت ناشی از بلایای طبیعی معادل ۲۱ درصد از تولید ناخالص داخلی است (WorldBank, 2015).



شکل ۱- آسیب و خسارت وارده به بخش کشاورزی به تفکیک عامل خطر در کشورهای در حال توسعه (WorldBank, 2015)
Figure 1- Damage and losses to the agriculture sector by type of hazard (percentage share of all sectors combined) (WorldBank, 2015)

خشکسالی یکی از شایع‌ترین بلایای طبیعی است که در اقلیم‌های مختلف به‌طور مکرر رخ می‌دهد و اثرات آن محدود به مناطق خشک و نیمه‌خشک نیست، بلکه می‌تواند در مناطق با بارندگی شدید و در هر زمانی از فصل رشد نیز رخ دهد (Mathbout, Lopez-Bustins, Martin-Vide, Bech, & Rodrigo, 2018; Mishra & Singh, 2010; Shahabfar, Ghulam, & Eitzinger, 2012; Subash, Mohan, & Banukumar, 2011). عوامل اصلی که منجر به کمبود رطوبت در خاک می‌گردند، شامل نفوذ کم آب و افزایش رواناب و تبخیر و تعرق می‌باشند. این عوامل تا حد زیادی تحت تأثیر اقلیم، ویژگی‌های خاک، پستی و بلندی زمین و فیزیک خاک است. این عوامل بر نوع، شدت و دوره خشکسالی کشاورزی تأثیر می‌گذارند. ماهیت خسارت وارده به محصولات زراعی وابسته به شدت خشکسالی می‌باشد که البته زمان وقوع، مرحله رشد و همچنین نوع خاک بر آن تأثیرگذار است (Kirkham, 2011; Unger, Kirkham, & Nielsen, 2010).

ارزیابی ریسک روشی برای تعیین اندازه کّمی و کیفی انواع ریسک‌ها و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی است و ابزاری برای کمک به تصمیم‌گیرندگان بخش کشاورزی در درک و هنگام مواجهه با ریسک و شناسایی راه‌حل‌های بالقوه برای کاهش، انتقال و مقابله با آن و فراهم آوردن زمینه‌ای برای توسعه راه‌حل‌های مناسب مدیریت ریسک می‌باشد (WorldBank, 2016). آسیب-پذیری، چارچوبی را برای شناسایی علل ریشه‌ای عوارض خشکسالی در سطوح اجتماعی، اقتصادی و محیطی فراهم می‌کند. ریجویس (Rejoice, 2003) شاخص‌های آسیب‌پذیری[1] و ریسک خشکسالی[2] را با استفاده از احتمالات بارندگی که از داده‌ها و اطلاعات بارش بلندمدت ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست‌آمده، ارائه کرده است. مورفی و همکاران (Murthy *et al*., 2015) شاخص‌های مشتق‌شده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI[3]) را به‌منظور پهنه-بندی آسیب‌پذیری خشکسالی در هند استفاده نموده‌اند. ویلهلمی و ویلهایت (Wilhelmi & Wilhite, 2002) مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی را با استفاده از متغیرهای مختلف انجام دادند. آن‌ها از چهار متغیر مربوط به اقلیم، خاک، کاربری زمین و آبیاری استفاده کرده و نوعی طرح توزین عددی را برای ایجاد شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی معرفی نموده-اند. ژائو و همکاران (Zhao, Zhang, Zhu, Shen, & Yu, 2020) برای محاسبه ریسک خشکسالی از شاخص بارش-تبخیر و تعرق استانداردشده (SPEI[4]) استفاده نمودند و برای محاسبه شاخص احتمال وقوع خشکسالی از متغیرهایی همچون تراکم جمعیت، میزان زمین‌های زراعی و مراتع استفاده نموده و آسیب‌پذیری خشکسالی را از طریق متغیرهای تولید ناخالص داخلی، نسبت زمین‌های آبی به کل زمین‌های زراعی، تعداد ذخایر آبی، نسبت صنایع اولیه به تولید ناخالص داخلی محاسبه نمودند. قاسمی نژاد و همکاران (Ghaseminejad, Soltani, & Soffianian, 2014) برای محاسبه شاخص ریسک خشکسالی در اصفهان، از شاخص بارش استانداردشده (SPI[5])، شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی (تراکم جمعیت و درصد افراد شاغل در بخش کشاورزی) و شاخص‌های فیزیکی (ظرفیت آب قابل‌استفاده خاک و کاربری زمین) استفاده نمودند.

1- Drought vulnerability Index
2- Drought risk Index
3- Normalized difference vegetation index
4- Standardized precipitation evapotranspiration index
5- Standardized precipitation index

بنابراین هدف از این تحقیق، محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری، مخاطره[1] و در نهایت ریسک خشکسالی برای تولید گندم دیم در مناطق مستعد دیم در شمال شرق ایران (استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی) است. همچنین در اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور برای محاسبه شاخص ریسک خشکسالی به آسیب‌پذیری و پارامترهای آن توجه ویژه‌ای نشده است. ازاین‌رو در این مطالعه، ارزیابی ریسک خشکسالی تولید گندم دیم با تمرکز ویژه بر شاخص‌های آسیب‌پذیری انجام شده است. این شاخص یک معیار ترکیبی با ورودی‌های متعدد بوده و تجزیه و تحلیل دقیق رویداد و تأثیر آن بر عملکرد محصول مد نظر نبوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی واقع در شمال شرقی ایران است. استان خراسان شمالی در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده که مساحت آن ۲۸۴۳۴ کیلومترمربع است. استان خراسان رضوی نیز بین ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته که مساحت آن ۱۱۸۸۵۱ کیلومترمربع است. استان‌های خراسان در خشکسالی قدمت طولانی دارند و به‌طور کلی جزء مناطق نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شوند. براساس شاخص SPEI در یک دوره دهساله منتهی به بهمن‌ماه سال ۱۴۰۰، ۸۹/۱ درصد از مساحت استان خراسان رضوی، ۸۹/۳ درصد از مساحت استان خراسان جنوبی و ۷۴/۲ درصد از مساحت استان خراسان شمالی با خشکسالی مواجه بوده‌اند (IranMeteorologicaOrganization, 2022).

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی استراتژیک ایران به‌علت اینکه جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات زراعی دارد به‌عنوان گیاه مورد مطالعه انتخاب شد. بیشترین میزان تولید دیم در ایران مربوط به محصول گندم با تولید تقریبی ۳/۴ میلیون تن و سهم ۷۲/۴ درصد از کل تولیدات دیم در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بوده است (MinistryofAgricultureofIran, 2023). اطلاعات سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم دیم طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌ها و اطلاعات موردنیاز

داده‌های عملکرد: مناطق مستعد دیم با نظر محققان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی انتخاب شدند. مدت زمان مورد بررسی، سال‌های زراعی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ (۸۹-۱۳۸۸) لغایت ۲۰۱۸-۲۰۱۷ (۹۷-۱۳۹۶) می‌باشد. داده‌های عملکرد گندم دیم شهرستان‌های مستعد دیم مطابق جدول ۲ می‌باشد.

داده‌های بارش: با توجه به اینکه داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه کامل نمی‌باشد، از داده‌های باز تحلیل[2] استفاده شد. داده‌های باز تحلیل‌شده از ترکیب نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا با انواع داده‌های محاسباتی و مشاهداتی از سنجنده‌های مختلف به دست می‌آید. داده‌های باز تحلیل‌شده Era5 پنجمین نسل از داده‌های پایگاه مرکز پیش‌بینی وضع آب‌وهوای اروپا (ECMWF)[3] است که از اول ژانویه ۱۹۷۹، کل کره زمین را پوشش می‌دهند و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی به‌ترتیب °۰/۲۵ × °۰/۲۵ و یک ساعت می‌باشند (Parvaze, Khan, Kumar, & Allaie, 2021). بارش روزانه (میلی‌متر) از پایگاه داده Era5 در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ با فرمت NetCDF از آدرس الکترونیکی پایگاه داده ECMWF[4] بارگیری و با استفاده از بسته ncdf4 نرم‌افزار R استخراج گردید. داده‌های بارش روزانه (میلی‌متر) ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. از داده‌های مشاهداتی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در شهرستان‌های بجنورد (استان خراسان شمالی)، گلمکان، قوچان، کاشمر، مشهد، نیشابور، سبزوار، سرخس، تربت‌حیدریه و تربت‌جام (استان خراسان رضوی) در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ به‌منظور ارزیابی داده‌های Era5 و امکان استفاده آن در منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

کارآیی مجموعه داده‌های Era5 با استفاده از شاخص‌های برازش ازجمله جذر میانگین مربعات خطا[5] (RMSE) (معادله ۱)، ضریب همبستگی پیرسون[6] (R) (معادله ۲)، میانگین خطای اریبی[7] (MBE) (معادله ۳)، شاخص توافق[8] (d) (معادله ۴) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). هر چه مقدار d به‌دست‌آمده توسط مدل به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی موفق‌تر بوده و توانسته است که میزان پیش‌بینی را با اختلاف کمتری نسبت به مقادیر مشاهده‌شده انجام دهد (Willmott *et al.*, 1985).

1- Drought hazard index

2- Reanalysis data

3- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

4- European Center for Climate Prediction

5- Pearson Correlation Coefficient

6- Coefficient of Determination

7- Mean Bias Error

8- Index of Agreement

جدول ۱- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the study area

موقعیت Location	سطح زیر کشت گندم دیم Cultivated area rainfed wheat (ha)	تولید گندم دیم Production of rainfed wheat (ton)	عملکرد گندم دیم Yield rainfed wheat (kg ha^{-1})
ایران Iran	4126513	3422716	829
خراسان رضوی Razavi Khorasan	59623	28700	481
خراسان شمالی North Khorasan	131568	102542	779

جدول ۲- عملکرد گندم دیم شهرستان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶

Table 2– Rainfed wheat yield in Razavi Khorasan and North Khorasan Counties during the years 2009-2010 to 2017-2018

شماره No.	شهرستان County	استان Province	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	میانگین Mean
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	987	501	754	602	831	949	1400	594	653	808
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	480	200	450	191	260	473	750	480	300	398
3	درگز Dargaz	خراسان رضوی Razavi Khorasan	800	280	900	463	480	709	1490	713	480	702
4	راز و جرگلان Raz-Jargalan	خراسان شمالی North Khorasan	886	450	677	623	667	655	1400	505	555	713
5	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	300	160	350	245	250	142	1340	336	410	393
6	شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	723	410	449	641	715	751	1600	570	626	721
7	فاروج Faruj	خراسان شمالی North Khorasan	761	691	519	735	372	887	1600	687	755	779
8	فریمان Fariman	خراسان رضوی Razavi Khorasan	550	350	500	245	350	378	950	223	350	433
9	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	874	650	750	490	492	803	1650	259	580	728
10	کلات Kalat	خراسان رضوی Razavi Khorasan	870	502	1050	436	290	945	1490	450	596	737
11	مانه و سملقان Mane-Samalghan	خراسان شمالی North Khorasan	1010	412	781	689	838	654	1300	618	678	776
12	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	400	250	550	256	300	520	850	356	300	420

جدول ۳- شاخص‌های بررسی کارآیی مجموعه داده‌های Era5

Table 3- Indicators to check the efficiency of the data set of Era5

شاخص Index	علامت اختصاری Abbreviation sign	بهترین مقدار Best amount	فرمول Formula	توضیحات Description
خطای جذر میانگین مربعات Root mean square error	RMSE	0	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}}$	(۱)
ضریب همبستگی پیرسون Pearson correlation coefficient	R	1	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2][\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2]}}$	(۲)
میانگین خطای اریبی Mean bias error	MBE	0	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)}{n}$	(۳)
شاخص توافق Index of agreement	d	1	$1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left((\lvert P_i - \overline{O_i}\rvert) + \lvert O_i - \overline{O_i}\rvert\right)}\right)$	(۴)

جدول ٤- ویژگی‌های نمونه خاک‌های استخراج‌شده از استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی

Table 4- Soil properties for samples extracted from the Razavi Khorasan and North Khorasan provinces

No.	شهرستان County	استان Province	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	ماده آلی OC (%)	ظرفیت نگهداری آب خاک AWA (%)
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	7	47	46	0.77	11.63
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	44	34	22	0.58	10.67
3	درگز Dargaz	خراسان رضوی Razavi Khorasan	35	45	20	0.67	12.15
4	راز و جرگلان Raz- Jargalan	خراسان شمالی North Khorasan	27	47	26	0.76	9.33
5	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	44	34	22	0.46	11.08
6	شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	40	16	44	0.84	11.37
7	فاروج Faruj	خراسان شمالی North Khorasan	40	30	30	0.40	11.71
8	فریمان Fariman	خراسان رضوی Razavi Khorasan	48	40	12	0.31	8.71
9	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	28	45	27	0.46	13.16
10	کلات Kalat	خراسان رضوی Razavi Khorasan	39	38	23	0.50	12.42
11	مانه و سملقان Mane- Samalghan	خراسان شمالی North Khorasan	21	48	31	0.78	10.91
12	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	37	38	25	0.96	13.21
	میانگین Mean		34	39	27	0.62	11.36

در ایـن مطالعـات، n: تعـداد روز مشـاهداتی، O_i: مقـدار متغیـر مشاهده‌شده برای روز i ام و P_i مقدار متغیر شبیه‌سازی‌شده برای روز i ام، O_{max} و O_{min}: به‌ترتیب حداکثر و حداقل مقدار متغیر مشاهده‌شـده و $\bar{O}$: نیز نشان‌دهنده میـانگین مقـادیر مشاهده‌شـده می‌باشـد (Van Wart, Grassini, & Cassman, 2013).

داده‌های خاک

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، ۶۰ نمونه خـاک از مـزارع ۱۲ شهرستان استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی از قطعاتی با ابعاد ۲۰ × ۲۰ سانتی‌متر در قالب طرح تصادفی برداشت شد.

جدول ۵- سطح مکانیزاسیون استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی ($HP\ ha^{-1}$)

Table 5- Level of mechanization of the Razavi Khorasan and North Khorasan provinces ($HP\ ha^{-1}$)

شماره No.	شهرستان County	استان Province	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	میانگین Mean
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	1.80	1.80	1.83	1.88	1.90	1.95	2.00	2.15	2.25	1.95
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.92	0.95	0.97	1.13	1.13	1.10	1.23	1.30	1.82	1.17
3	درگز Dargaz	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.97	1.02	1.02	0.77	0.77	1.01	1.16	1.30	1.44	1.05
4	راز و جرگلان Raz-Jargalan	خراسان شمالی North Khorasan	0.80	1.00	1.00	1.05	1.15	1.20	1.24	1.26	1.25	1.11
5	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1.12	1.14	1.15	1.03	1.03	0.90	1.20	1.30	1.34	1.13
6	شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	1.20	1.35	1.37	1.40	1.40	1.45	1.50	1.60	1.70	1.44
7	فاروج Faruj	خراسان شمالی North Khorasan	0.90	0.97	1.00	1.10	1.15	1.20	1.60	1.65	1.73	1.26
8	فریمان Fariman	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1.41	1.44	1.44	1.63	1.63	1.60	1.45	1.47	1.65	1.52
9	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.72	0.74	0.75	1.02	1.02	0.87	1.15	1.60	1.70	1.06
10	کلات Kalat	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.92	0.95	0.95	0.83	0.83	1.04	1.12	1.23	1.40	1.03
11	مانه و سملقان Mane-Samalghan	خراسان شمالی North Khorasan	0.95	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.45	1.60	1.65	1.31
12	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1.16	1.17	1.18	1.74	1.74	1.34	1.70	1.9	1.82	1.53

نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک صورت گرفت و برای نیل به این هدف، پنج نمونه خاک از پنج نقطه در داخل هر قطعه نمونه (چهارگوشه و وسط) برداشت شد. در گام نخست، نمونه‌ها در هوای آزاد و دور از تابش مستقیم نور آفتاب خشک شده و کلیه ریشه‌های قابل جداسازی از نمونه‌ها خارج شدند و سپس نمونه‌ها کوبیده شدند و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به‌روش هیدرومتری[1] و حد رطوبت زراعی و حد رطوبت نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین شد و در نهایت از اختلاف حد رطوبت زراعی (FC^2) و حد رطوبت نقطه پژمردگی (PWP^3)، ظرفیت نگهداری آب خاک ($SWHC^4$) به دست آمد (Lakzian, AVAL, & Gorbanzadeh, 2010). درصد کربن آلی نیز با روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934) تعیین و برای تبدیل آن به درصد ماده آلی از ضریب ۱/۷۲۴ استفاده شد. میزان شن، سیلت و رس نمونه‌های خاک با استفاده از روش هیدرومتر برآورد شد (Gee & Bauder, 1979). اطلاعات بافت خاک (شن، رس و سیلت)، ماده آلی و ظرفیت نگهداری آب خاک هر شهرستان در جدول ۴ قابل مشاهده است.

داده‌های مکانیزاسیون: به‌منظور بررسی وضعیت مکانیزاسیون کشاورزی، آمار شاخص سطح مکانیزاسیون از سازمان جهاد کشاورزی استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی در بازه زمانی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶ به تفکیک شهرستان اخذ گردید. شاخص سطح مکانیزاسیون با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. شاخص سطح مکانیزاسیون شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول ۵ قابل‌مشاهده است.

$$\text{سطح مکانیزاسیون} = \frac{\text{مجموع توان کششی ماشین آلات کشاورزی}}{\text{میانگین پنج ساله سطح زیر کشت}} \quad (۱)$$

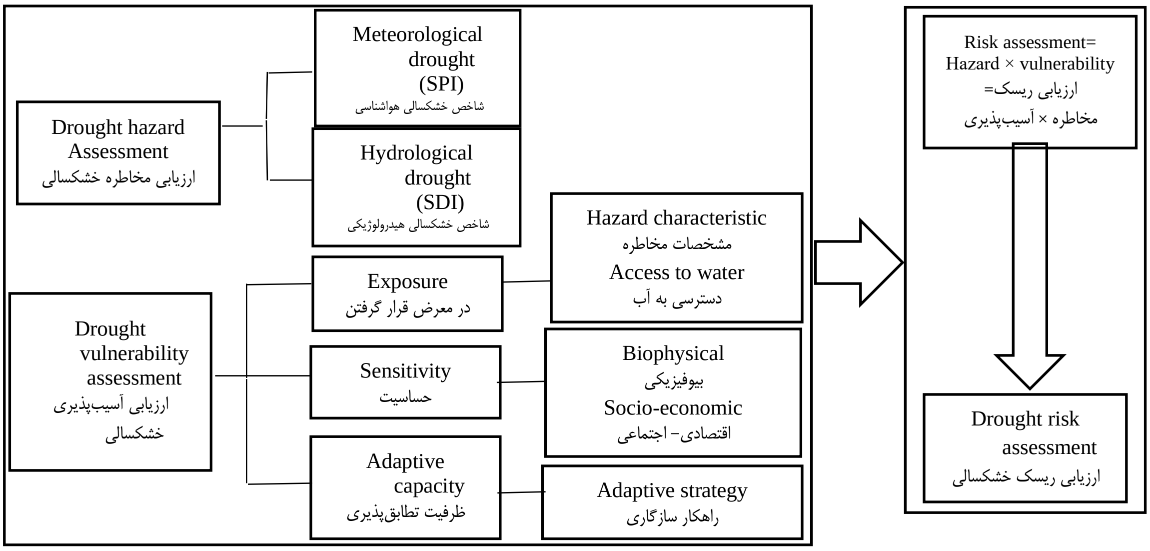
1- Hydrometer method
2- Field capacity
3- Permanent wilting point
4- Soil water holding capacity

چارچوب مفهومی شاخص آسیب‌پذیری و ریسک خشکسالی

برای ارزیابی ریسک خشکسالی روش‌های متعددی وجود دارد. دو مؤلفه مهم در ارزیابی ریسک، مخاطره و آسیب‌پذیری می‌باشند که در مطالعات و تحقیقات مختلف با استفاده از شاخص‌های متفاوتی محاسبه می‌گردند (Sharafi, Zarafshani, Keshavarz, Azadi, & Van Passel, 2020). چون در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت تطابق‌پذیری سه جزء شاخص آسیب‌پذیری هستند، مطالعات مبتنی بر اندازه‌گیری شاخص آسیب‌پذیری که به بررسی نقش اقلیم و بلایای طبیعی می‌پردازند به‌طور مؤثری تحت تأثیر این سه جزء می‌باشند (Ahsan & Warner, 2014; Birkmann, 2008; Liu, Wang, Peng, Braimoh, & Yin, 2013; Murthy *et al.*, 2015). شکل ۲، نمونه‌ای از چارچوب مفهومی محاسبه ریسک خشکسالی می‌باشد.

محاسبه شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی (DVI)

لیست پارامترهای ورودی برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی در جدول ۶ ذکر شده است.



شکل ۲- چارچوب مفهومی ریسک خشکسالی (Sharafi *et al.*, 2020)

Figure 2- Conceptual framework for risk assessment (Sharafi *et al.*, 2020)

شاخص‌های ورودی مدل آسیب‌پذیری شامل نه شاخص در معرض قرار گرفتن، یک شاخص حساسیت و دو شاخص ظرفیت تطابق‌پذیری است. ماتریس داده‌ها با ۱۲ شاخص و ۱۲ شهرستان برای گندم دیم برای تحلیل بیشتر که شامل نرمال‌سازی داده‌ها و ساخت شاخص‌های ترکیبی است، تشکیل می‌شود. در نهایت، سه شاخص به دست آمد که از طریق رابطه (۲) قابل محاسبه است (Murthy *et al.*, 2015).

$$ADVI = EI + SI - AI \quad (۲)$$

برای حل مشکل چند معیاره بودن شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی از روش کوکوسو (CoCoSo[1]) استفاده شد. این روش از تکنیک‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که توسط یزدانی و همکاران (Yazdani, Zarate, Kazimieras Zavadskas, & Turskis, 2018) ارائه شده است. در این روش، یک راه حل ترکیبی سازشی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌شود. این روش یک مدل یکپارچه از روش جمع وزنی ساده (SAW[2]) و مدل ضرب وزنی (WPM[3]) می‌باشد. مراحل این روش مطابق روابط (۳) تا (۱۱) می‌باشد (Yazdani *et al.*, 2018).

۱- ماتریس تصمیم‌گیری اولیه مطابق رابطه (۳) است:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1,2,\ldots,m;\ j = 1,2,\ldots,n \quad (۳)$$

۲- نرمال‌سازی تقریباً در تمام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره صورت می‌گیرد. در این گام براساس معادلات ماتریس تصمیم نرمال می‌شود، از رابطه (۸) برای معیارهای مثبت و از رابطه (۹) برای معیارهای منفی استفاده می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}; for\ positive\ \text{Indicator} \quad (۴)$$

1- Combined Compromise Solution

2- Simple additive weighted

3- Weighted product model

$$r_{ij}=\frac{\max x_{ij}-x_{ij}}{\max x_{ij}-\min x_{ij}} \text{For negative Indicator ;} \quad (5)$$

۳- در این گام براساس روابط (۶) و (۷) مقادیر جمع وزنی (S) و ضرب وزنی (P) برای هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$S_i=\sum_{i=1}^{n}(w_j\, r_{ij}) \quad (6)$$

$$P_i=\sum_{i=1}^{n}(r_{ij})^{w_j} \quad (7)$$

که در آن‌ها: W_j وزن معیارها می‌باشد که به‌عنوان ورودی وارد روش cocoso شده است. وزن معیارها از طریق روش AHP محاسبه شد. مقادیر S_i در واقع از روش SAW و مقادیر P_i از روش واسپاس گرفته شده است.

۴- در این مرحله، امتیاز گزینه‌ها براساس سه راهبرد از روابط (۸)، (۹) و (۱۰) حاصل می‌شود.

$$k_{ia}=\frac{P_i+S_i}{\sum_{i=1}^{m}(P_i+S_i)} \quad (8)$$

$$k_{ib}=\frac{S_i}{minS_i}+\frac{P_i}{minP_i} \quad (9)$$

$$k_{ic}=\frac{\lambda(S_i)+(1-\lambda)(P_i)}{(\lambda maxS_i+(1-\lambda)maxP_i)};\ 0\le\lambda\le 1 \quad (10)$$

۵- در این مرحله، براساس رابطه (۱۱) امتیاز نهایی محاسبه می‌شود، در واقع این رابطه بیانگر جمع میانگین هندسی و میانگین حسابی سه استراتژی مرحله قبل می‌باشد. امتیاز (k) هر گزینه‌ای بزرگ‌تر باشد، نشان از برتری آن گزینه دارد.

(۱۱)

$$k_i=(k_{ia}\times k_{ib}\times k_{ic})^{\frac{1}{3}}+\frac{1}{3}(k_{ia}+k_{ib}+k_{ic})$$

خروجی شاخص ADVI به‌جای اینکه معرف شرایط خاص در مناطق مورد مطالعه باشد، تفاوت‌های نسبی بین مناطق را منعکس می‌کند. شاخص آسیب‌پذیری می‌تواند بین ۰ و ۱ متغیر باشد که به‌ترتیب حداقل و حداکثر آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. براساس فواصل تعریف‌شده در جدول ۷، شهرستان‌ها به سطوح مختلف شاخص آسیب‌پذیری و اجزاء آن طبقه‌بندی می‌شوند (Murthy *et al.*, 2015).

جدول ٦- پارامترها و شاخص‌های اجزای مختلف آسیب‌پذیری

Table 6- Parameters and indexes of different vulnerability components

پارامتر Parameter	شاخص Indicator	منبع Study
الف- اجزاء در معرض قرار گرفتن A- Exposure component		
مجموع بارندگی فصل رشد Total season rainfall	۱- میانگین 1- Mean ۲-ضریب تغییرات 2- Coefficient of variation (CV) ۳-تواتر خشکسالی 3- Drought frequency	(Murthy *et al.*, 2015)
ب-اجزاء حساسیت B- Sensitivity component		
عملکرد محصول Crop yield	عملکرد مورد انتظار/عملکرد واقعی $\frac{expected\ yield}{actual\ yield}$	(Antwi-Agyei, Fraser, Dougill, Stringer, & Simelton, 2012)
ج- اجزاء ظرفیت تطابق‌پذیری C- Adaptive capacity component		
۱-خاک 1- Soil	ظرفیت نگهداری آب خاک Soil water holding capacity	Authors
۲- دسترسی به تکنولوژی (سطح مکانیزاسیون) 2- Access to technology (Level of mechanization)	مجموع توان کششی ماشین‌آلات کشاورزی/ میانگین پنجساله سطح زیر کشت دائمی Total tractive power of agricultural machines/five-year average of permanent cultivated area	Authors

جدول ۷- دسته‌بندی آسیب‌پذیری، در معرض قرار گرفتن، ظرفیت تطابق‌پذیری و حساسیت (Murthy *et al*., 2015)

Table 7- Vulnerability, exposure, adaptive capacity and sensitivity categorization (Murthy *et al*., 2015)

دسته‌بندی حساسیت Class of sensitivity	امتیاز Score	دسته‌بندی Class: ظرفیت تطابق‌پذیری Adaptive capacity	در معرض قرار گرفتن Exposure index	آسیب‌پذیری Vulnerability	امتیاز Score
کمتر حساس Less sensitive	<1	کمتر تطابق‌پذیر Less adaptable capacity	کمتر در معرض واقع‌شده Less exposured	کمتر آسیب‌پذیر Less vulnerable	< 0.2
متوسط حساس Moderately sensitive	1-1.05	متوسط تطابق‌پذیر Moderately adaptable capacity	متوسط در معرض واقع‌شده Moderately exposured	متوسط آسیب‌پذیر Moderately vulnerable	0.2-0.4
حساس Sensitive	1.05-1.1	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	در معرض واقع‌شده Exposured	آسیب‌پذیر Vulnerable	0.4-0.6
زیاد حساس Highly sensitive	1.1-1.15	زیاد تطابق‌پذیر Highly adaptable capacity	زیاد در معرض واقع‌شده Highly exposured	زیاد آسیب‌پذیر Highly vulnerable	0.6-0.8
بسیار زیاد حساس Very highly sensitive	>1.15	بسیار زیاد تطابق‌پذیر Very highly adaptable capacity	بسیار زیاد در معرض واقع‌شده Very highly exposured	بسیار زیاد آسیب‌پذیر Very highly vulnerable	> 0.8

محاسبه شاخص مخاطره خشکسالی (DHI)

برای اندازه‌گیری شاخص مخاطره خشکسالی از SPI به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری کمیت خشکسالی استفاده شد (Guttman, 1999; McKee, Doesken & Kleist, 1993). در واقع، SPI عبارت است از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به‌دست‌آمده، مساوی باشد. رویه محاسباتی برای تعیین SPI شامل مراحل زیر است: (الف) ابتدا یک تابع چگالی احتمال مناسب (PDF[1]) برای بارش جمع‌آوری‌شده در مقیاس زمانی مورد نظر برازش داده می‌شود (ب) سپس هر PDF به یک توزیع احتمال نرمال استاندارد تبدیل می‌شود. روش ریاضی دقیق برای محاسبه SPI در مطالعات مک‌کی و همکاران (McKee *et al*., 1993)، گاتمن (Guttman, 1999)، میشرا و سینگ (Mishra & Singh, 2010) و شِن (Şen, 2015) اشاره شده است. در این مطالعه از SPI-3 برای تعیین کمیت مخاطره استفاده شد. مقاطع مورد بررسی به‌صورت فصلی (پاییز، زمستان و بهار) در نظر گرفته شد و دلیل استفاده از مقاطع فصلی به‌جای دوره فصل رشد گندم دیم (نه ماهه) این است که به‌طور مثال، در سالی که SPI پاییز در منطقه‌ای منفی باشد و SPI زمستان و بهار مثبت باشد، احتمالاً SPI نه‌ماهه مثبت خواهد بود، امّا SPI منفی پاییز باعث تأثیر منفی بر رشد و استقرار مناسب گندم دیم خواهد بود که در نهایت بر عملکرد تأثیر منفی خواهد داشت، درصورتی‌که مبنای محاسبات، SPI نه‌ماهه در نظر گرفته شود، این تأثیر قابل بررسی نخواهد بود.

به‌طور کلی، مخاطره، احتمال وقوع یک پدیده بالقوه مخرب را به‌صورت کمّی بیان می‌کند. ازآنجاکه مخاطره بیانگر نوعی احتمال است، ازاین‌رو بین صفر تا یک متغیر است. در این بخش، مخاطره به‌صورت حاصل‌ضرب اندازه و فراوانی وقوع یک رویداد خشکسالی اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از یک سیستم وزن‌دهی مبتنی بر تابع توزیع تجمعی (شکل ۳)، مقادیر وزن (W) و درجه‌بندی (R) براساس تابع احتمال تجمعی نرمال و با استفاده از شدت و احتمال وقوع پدیده، به ارزیابی خطر خشکسالی اختصاص داده می‌شوند (جدول ۸).

در نهایت، شاخص مخاطره خشکسالی از رابطه (۱۲) به دست می‌آید.

$$DHI = LD_r \times LD_w + MD_r \times MD_w + SD_r \times SD_w + ED_r \times ED_w \quad (۱۲)$$

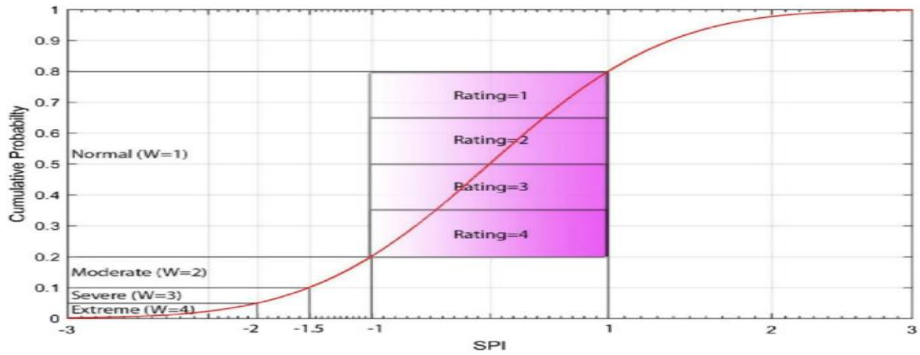
شاخص ریسک خشکسالی (DRI) از حاصل‌ضرب شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی و شاخص مخاطره خشکسالی مطابق رابطه (۱۳) به دست می‌آید (Kim, Park, Yoo, & Kim, 2015; Wilhite, 2000).

$$DRI = DHI \times DVI \quad (۱۳)$$

نتایج و بحث

نتایج اعتبارسنجی داده‌های روزانه شبیه‌سازی‌شده پایگاه داده ERA5 در مقایسه با داده‌های مشاهداتی در خصوص متغیر بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ارائه شده است. بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون در ایستگاه مشهد (۰/۷۷) و کمترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون در ایستگاه کاشمر (۰/۶۴) مشاهده شد. بیشترین مقدار RMSE برای ایستگاه نیشابور (۳/۰۷ میلی‌متر در ماه) و کمترین برای ایستگاه تربت‌جام (۲/۲۵ میلی‌متر در ماه) می‌باشد. شاخص توافق کلیه ایستگاه‌ها بین ۰/۷۱ تا ۰/۸۳ می‌باشد.

1- Probability density function



شکل ۳- مقادیر وزنی و درجه‌بندی براساس توزیع احتمال تجمعی نرمال SPI (Dabanli, 2018)

Figure 3- Weight and rating scores based on normal cumulative probability distribution of SPI (Dabanli, 2018)

جدول ۸- وزن و درجه‌بندی برای شدت خشکسالی برای DHI

Table 8- Weight and rate for drought severity for DHI (Dabanli, 2018; Khoshnazar *et al.*, 2021)

مقدار شاخص خشکسالی Drought index value	دسته‌بندی Category	وزن Weight (D_w)	احتمال وقوع Occurrence probability	رتبه‌بندی Rating (D_r)
≤ -2	خیلی شدید Extreme (E)	4	خیلی زیاد Very high زیاد High کم Low خیلی کم Very low	4 3 2 1
-1.5 to -1.99	شدید Severe (S)	3	خیلی زیاد Very high زیاد High کم Low خیلی کم Very low	4 3 2 1
-1 to -1.49	متوسط Moderate (M)	2	خیلی زیاد Very high زیاد High کم Low خیلی کم Very low	4 3 2 1
0 to -0.99	کم Low (L)	1	خیلی زیاد Very high زیاد High کم Low خیلی کم Very low	4 3 2 1

جدول ۹- اعتبارسنجی مقادیر بارش ماهانه مشاهده‌شده ایستگاه‌های سینوپتیک در استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی با ERA5

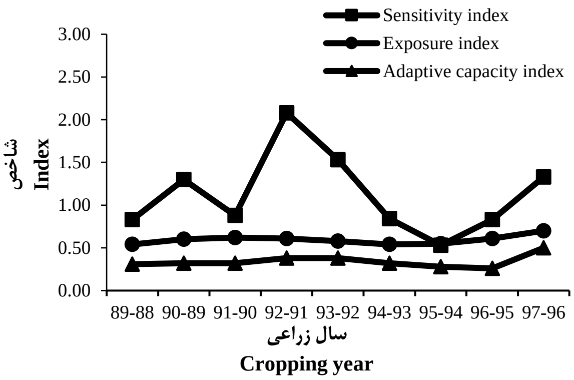
Table 9- Validation of observed monthly precipitation values of synoptic stations in North and Razavi provinces with ERA5 data

شماره No.	شهرستان County	استان Province	ارتفاع از سطح دریا distance above sea level (m)	طول جغرافیایی Longitude (°)	عرض جغرافیایی Latitude (°)	زمان مطالعه Study period	R	شاخص توافق d	خطای جذر میانگین مربعات RMSE	میانگین خطای اریبی MBE
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	1065	57.3	37.48	1989-2018	0.68	0.76	2.69	-0.35
2	گلمکان Golmakan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1176	59.28	36.48	1989-2018	0.68	0.74	2.89	-0.60
3	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1270	58.45	37.11	1989-2018	0.70	0.77	2.76	0.04
4	کاشمر Kashmar	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1109	58.47	35.27	1989-2018	0.64	0.71	2.35	-0.10
5	مشهد Mashhad	خراسان رضوی Razavi Khorasan	999	59.63	36.23	1989-2018	0.77	0.83	2.35	-0.17
6	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1213	58.8	36.26	1992-2018	0.66	0.71	3.07	-0.53
7	سبزوار Sabzevar	خراسان رضوی Razavi Khorasan	962	57.64	36.20	1989-2018	0.69	0.75	2.90	-0.58
8	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	278	61.14	36.53	1992-2018	0.71	0.75	2.41	0.16
9	تربیت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1451	59.2	35.33	1989-2018	0.70	0.77	2.93	-0.34
10	تربت جام Torbat-Jam	خراسان رضوی Razavi Khorasan	950	60.56	35.29	1992-2018	0.66	0.74	2.25	-0.19

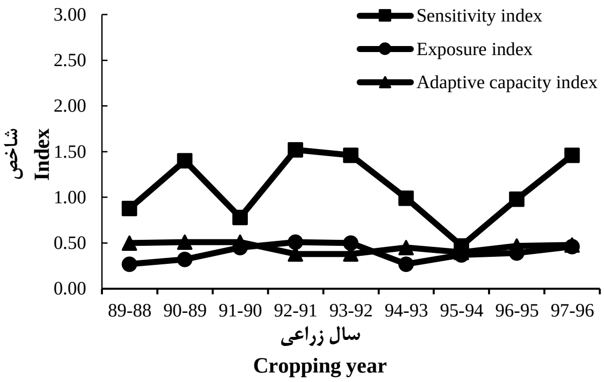
همچنین با توجه به معیار MBE کمترین مقدار میانگین انحراف خطا مربوط به ایستگاه قوچان (۰/۰۴) و بیشترین مقدار این شاخص مربوط به ایستگاه سبزوار (۰/۵۸-) می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های مورد مطالعه، بیانگر اعتبار و قابلیت مناسب ERA5 در شبیه سازی متغیر بارش است (جدول ۹). مطالعات دیگری نیز که در ایران انجام‌شده است دقت این پایگاه داده را تائید می‌کند (Azizi Mobaser, Rasoulzadeh, Rahmati, Shayeghi, & Bakhtar, 2020; Mohammadi Ghaleni & Sharafi, 2022).

شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی

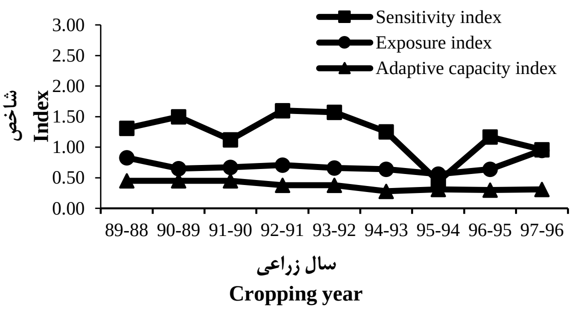
شاخص‌های حساسیت، در معرض قرار گرفتن و ظرفیت تطابق‌پذیری در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶ در شکل ۴ (A-L) و جدول ۱۰ نمایش داده شده است. نتایج نشان دادند که شاخص حساسیت خشکسالی در سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۲-۱۳۹۱ در تمامی شهرستان‌ها بیش از یک می‌باشد و این موضوع نشان‌دهنده آن است که در تمامی این شهرستان‌ها، عملکرد گندم دیم در سال‌های مورد نظر کمتر از میانگین درازمدت می‌باشد.



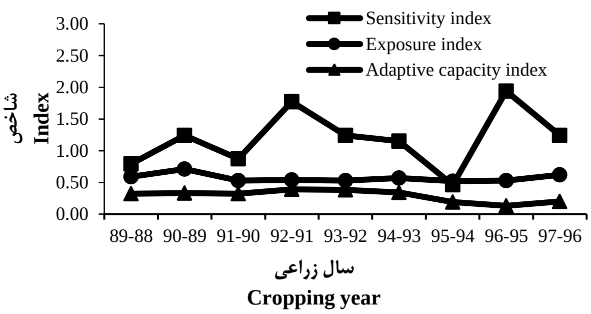
A) Torbat-Heydarieh



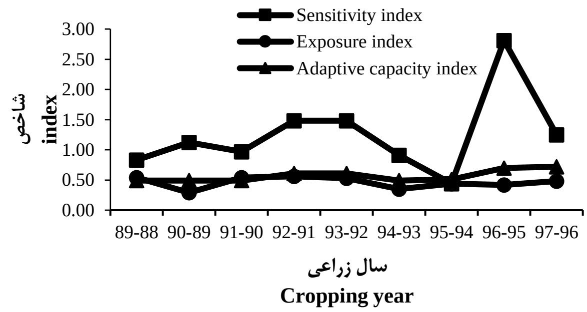
B) Dargaz



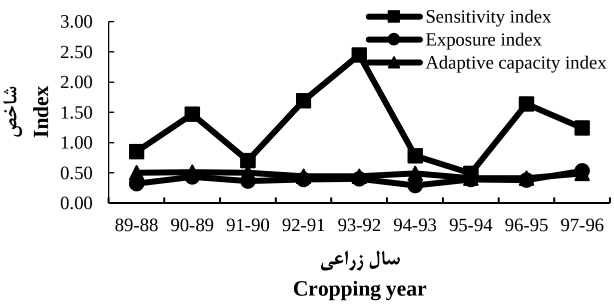
C) Sarakhs



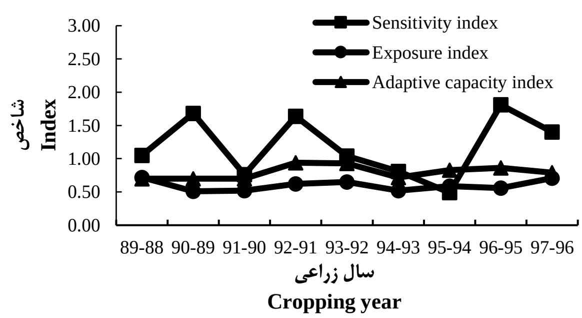
D) Fariman

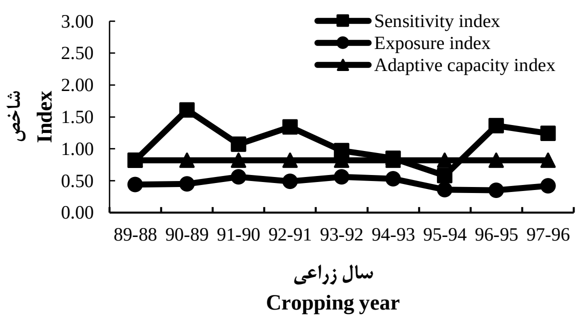


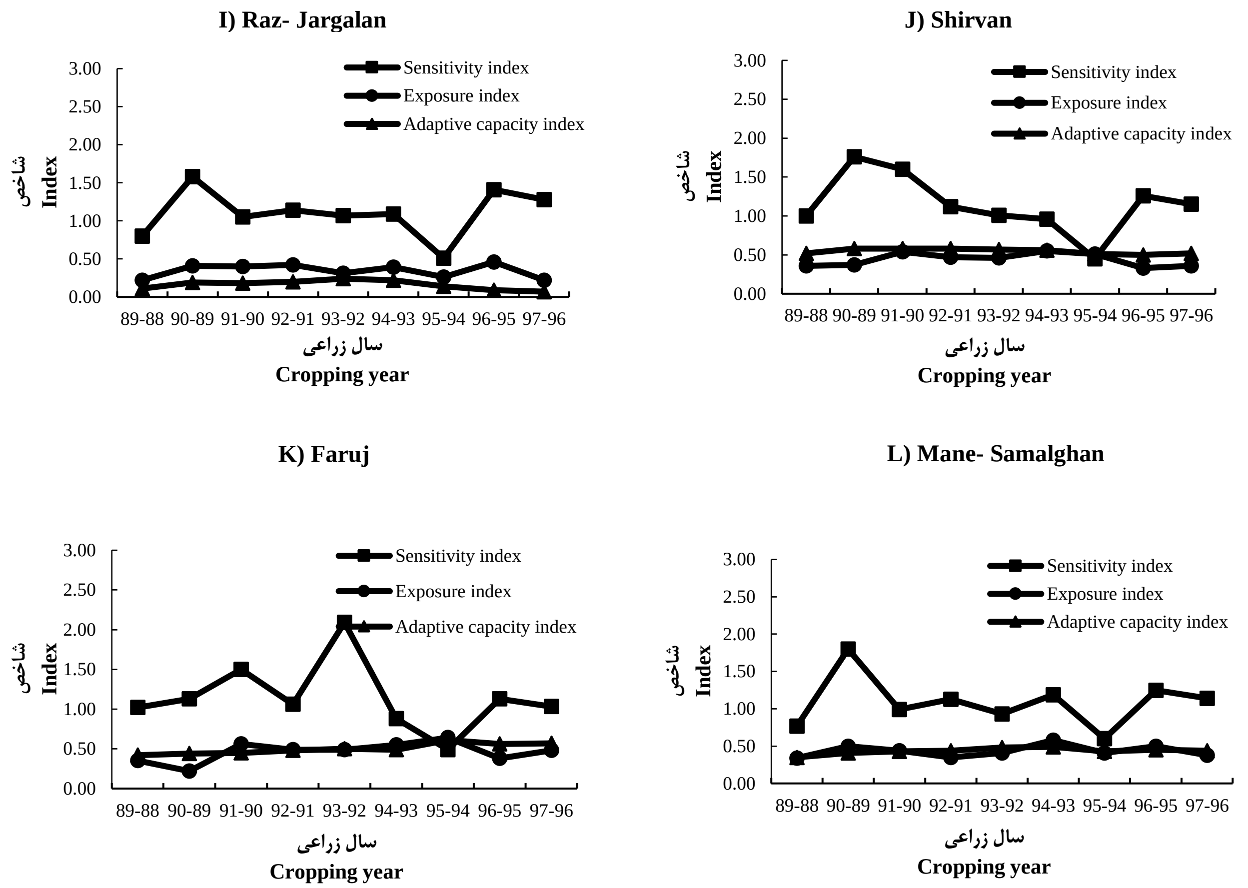
E) Ghuchan



F) Kalat







G) Neyshabur H) Bojnord

شکل ٤- شاخص حساسیت، در معرض قرار گرفتن و ظرفیت تطابق‌پذیری گندم دیم در استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶

Figure 4- Sensitivity index, exposure index and adaptive capacity index of the Razavi Khorasan and North Khorasan Provinces during the years 2009-2010 to 2017-2018

جدول ۱۰- شاخص حساسیت، در معرض قرار گرفتن، ظرفیت تطابق‌پذیری و آسیب‌پذیری خشکسالی گندم دیم شهرستان‌های استان خراسان شمالی و خراسان رضوی در دوره ۹ ساله

Table 10- Sensitivity index, exposure index and adaptive capacity index of the Razavi Khorasan and North Khorasan provinces in a period of 9 years

شماره No.	شهرستان County	شاخص حساسیت Sensitivity index			شاخص در معرض قرارگیری Exposure index			شاخص ظرفیت تطابق‌پذیری Adaptive capacity index			شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی Drought vulnerability index		
		امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank
1	بجنورد Bojnord	1.09	متوسط حساس Moderately sensitive	11	0.46	در معرض واقع‌شده Exposured	6	0.82	بسیار زیاد تطابق‌پذیر Very highly adaptable capacity	1	0.34	متوسط آسیب‌پذیر Moderately vulnerable	7

شماره No.	شهرستان County	شاخص حساسیت Sensitivity index			شاخص در معرض قرارگیری Exposure index			شاخص ظرفیت تطابق‌پذیری Adaptive capacity index			شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی Drought vulnerability index		
		امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank	امتیاز Score	کلاس Class	رتبه Rank
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	1.13	حساس Sensitive	8	0.59	در معرض واقع‌شده Exposured	3	0.34	متوسط تطابق‌پذیر Moderately adaptable capacity	10	0.51	آسیب‌پذیر Vulnerable	5
3	درگز Dargaz	1.10	حساس Sensitive	9	0.39	متوسط در معرض واقع‌شده Moderately Exposured	10	0.45	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	7	0.01	کمتر آسیب‌پذیر Less vulnerable	11
4	راز و جرگلان Raz-Jargalan	1.10	حساس Sensitive	10	0.34	متوسط در معرض واقع‌شده Moderately Exposured	12	0.16	کمتر تطابق‌پذیر Less adaptable capacity	12	0.51	آسیب‌پذیر Vulnerable	4
5	سرخس Sarakhs	1.21	زیاد حساس Highly sensitive	3	0.70	زیاد در معرض واقع‌شده Highly Exposured	1	0.37	متوسط تطابق‌پذیر Moderately adaptable capacity	9	1.00	بسیار زیاد آسیب‌پذیر Very highly vulnerable	1
6	شیروان Shirvan	1.15	حساس sensitive	6	0.44	در معرض واقع‌شده Exposured	8	0.55	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	4	0.48	آسیب‌پذیر Vulnerable	6
7	فاروج Faruj	1.15	حساس sensitive	7	0.46	در معرض واقع‌شده Exposured	7	0.50	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	5	0.30	متوسط آسیب‌پذیر Moderately vulnerable	8
8	فریمان Fariman	1.19	حساس sensitive	4	0.57	در معرض واقع‌شده Exposured	4	0.29	متوسط تطابق‌پذیر Moderately adaptable capacity	11	0.79	زیاد آسیب‌پذیر Highly vulnerable	2
9	قوچان Ghuchan	1.25	زیاد حساس Highly sensitive	2	0.46	در معرض واقع‌شده Exposured	5	0.57	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	3	0.13	کمتر آسیب‌پذیر Less vulnerable	10
10	کلات Kalat	1.26	زیاد حساس Highly sensitive	1	0.39	متوسط در معرض واقع‌شده Moderately Exposured	11	0.47	تطابق‌پذیر Adaptable Capacity	6	0.00	کمتر آسیب‌پذیر Less vulnerable	12
11	مانه و سملقان Mane-Samalghan	1.09	متوسط حساس Moderately Sensitive	12	0.43	در معرض واقع‌شده Exposured	9	0.44	تطابق‌پذیر Adaptable capacity	8	0.55	آسیب‌پذیر Vulnerable	3
12	نیشابور Neyshabur	1.19	حساس Sensitive	5	0.60	در معرض واقع‌شده Exposured	2	0.80	زیاد تطابق‌پذیر Highly adaptable capacity	2	0.26	متوسط آسیب‌پذیر Moderately vulnerable	9

همچنین در کلیه شهرستان‌های مورد بررسی، کاهش قابل توجهی در شاخص حساسیت خشکسالی در سال ۹۵-۱۳۹۴ مشاهده می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده این است که عملکرد گندم دیم در سال مورد نظر بیش از میانگین درازمدت می‌باشد و وضعیت اقلیمی به‌گونه‌ای بوده است که میزان عملکرد در این سال زراعی افزایش داشته است (شکل ۴. A-L).

نتایج نشان داد که در شهرستان سرخس، میزان تغییرات شاخص حساسیت خشکسالی در سال‌های مورد مطالعه نسبت به سایر شهرستان‌ها کمتر می‌باشد و در شهرستان‌های درگز، راز و جرگلان و نیشابور میزان تغییرات این شاخص نسبت به سایر شهرستان‌ها بیشتر است (شکل ۴. A-L). شهرستان‌های کلات، قوچان و سرخس در طبقه زیاد حساس قرار دارند و شهرستان‌های مانه و سملقان و بجنورد در طبقه متوسط حساس و سایر شهرستان‌ها در طبقه حساس هستند (جدول ۱۰). در این مطالعه از نسبت میانگین درازمدت عملکرد گندم دیم به عملکرد سال مورد نظر برای محاسبه شاخص حساسیت خشکسالی استفاده شد. بررسی سایر مطالعات نشان می‌دهد که از عوامل مختلف برای محاسبه شاخص حساسیت خشکسالی استفاده شده است که علت این امر به اهداف متفاوت (اجتماعی، اقتصادی، نهادی، کشاورزی و ...) و ابعاد منطقه مورد مطالعه (جهانی، قاره‌ای، ملی، منطقه‌ای و محلی) مربوط می‌شود. آسیماکوپولوس و همکاران (Assimacopoulos *et al.*, 2014) در مطالعه‌ای برای محاسبه شاخص حساسیت خشکسالی از عناصری همچون سطح آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب، تراکم جمعیت، درصد کشت‌های آبی و سهم بخش کشاورزی در تولید ناخالص ملی استفاده نمودند. در مطالعه‌ای دیگر در کشور چین از عناصر آب‌وهوایی همچون تغییرات بارندگی، واریانس دما و فقدان پوشش گیاهی برای محاسبه شاخص حساسیت خشکسالی استفاده شده است (Liu *et al.*, 2013). یوان و همکاران (Yuan *et al.*, 2013) در مطالعه آسیب‌پذیری خشکسالی منطقه‌ای چین و راهبردهای کاهش آن، برای محاسبه شاخص حساسیت خشکسالی از عناصری همچون سهم زمین‌های زراعی، سهم شالیزارها و تراکم جمعیت استفاده نمودند.

بررسی نتایج نشان داد که شهرستان سرخس بیشتر از سایر شهرستان‌ها در معرض خشکسالی واقع شده است همچنین شهرستان‌های راز و جرگلان، کلات و درگز به‌صورت متوسط در معرض خشکسالی قرار گرفتند (جدول ۱۰). شاخص در معرض خشکسالی واقع شدن نشان‌دهنده اقلیم منطقه از لحاظ ویژگی‌های بارندگی می‌باشد که در این مطالعه، عواملی همچون میانگین بارندگی، ضریب تغییرات بارندگی و SPI مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه‌ای، دیمز (Deems, 2010) از میانگین بارندگی سالانه و SPI برای محاسبه این شاخص استفاده کرد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، پریرا و همکاران (Pereira *et al.*, 2014) برای محاسبه این جزء از شاخص آسیب‌پذیری از شاخص خشکی استفاده نمودند.

در بین شهرستان‌های مورد بررسی، بجنورد بیشترین و راز و جرگلان، کمترین ظرفیت تطابق‌پذیری خشکسالی را نشان دادند (جدول ۱۰). ظرفیت نگهداری آب خاک در مزارع دیم شهرستان بجنورد، ۱۱/۶۳ درصد می‌باشد که از میانگین ظرفیت نگهداری آب خاک مناطق مورد مطالعه بیشتر است. همچنین سطح مکانیزاسیون این شهرستان از کلیه مناطق مورد مطالعه بیشتر است (جداول ۴). کشت مکانیزه می‌تواند به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای در مصرف آب در بخش کشاورزی صرفه‌جویی کند. همچنین با به‌کارگیری این روش، محصولات کشاورزی در زمان مناسب برداشت می‌شوند و از گرمای پایان فصل و خسارات ناشی از آن جلوگیری می‌شود.

نتایج نشان داد که در بین شهرستان‌های مورد بررسی، در شهرستان سرخس ،تولید گندم دیم با آسیب‌پذیری خشکسالی خیلی زیاد مواجه است و این شاخص در شهرستان‌های کلات، درگز و قوچان از سایر شهرستان‌ها کمتر می‌باشد. مناطق مستعد دیم در استان خراسان شمالی در رده متوسط آسیب‌پذیر و آسیب‌پذیر قرار دارند، امّا مناطق مستعد دیم در استان خراسان رضوی تحت تأثیر آسیب‌پذیری کمتر تا خیلی زیاد قرار دارند.

شاخص مخاطره خشکسالی

نتایج بررسی شاخص مخاطره خشکسالی طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ لغایت ۹۷-۱۳۹۶ در جدول ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شاخص مخاطره خشکسالی مربوط به سال‌های زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۳-۱۳۹۲ می‌باشد. در بین شهرستان‌های مورد بررسی، شهرستان‌های بجنورد، شیروان، مانه و سملقان بیشترین مقدار را در شاخص مخاطره خشکسالی دارند و در رده خیلی زیاد قرار گرفته‌اند و شهرستان‌های فاروج، درگز و قوچان کمترین مقدار را در این شاخص بین شهرستان‌های مورد بررسی دارند.

جدول ۱۱- شاخص مخاطره خشکسالی شهرستان‌های استان خراسان شمالی و خراسان رضوی
Table 11- Drought hazard index of the Razavi Khorasan and North Khorasan provinces

No.	شهرستان County	استان Province	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	جمع Sum	امتیاز Score	کلاس Class
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	1	19	2	6	12	6	3	9	7	65	1.00	Very high
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1	7	1	8	9	3	2	9	7	47	0.38	Medium
3	درگز Dargaz	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0	6	5	3	8	3	2	8	6	41	0.17	Low
4	راز و جرگلان Raz-Jargalan	خراسان شمالی North Khorasan	0	19	2	5	11	5	2	11	1	56	0.69	High
5	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	4	11	8	8	4	4	3	2	10	54	0.62	High
6	شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	1	18	1	9	16	3	0	6	8	62	0.90	Very high
7	فاروج Faruj	خراسان شمالی North Khorasan	0	2	3	6	12	2	1	4	6	36	0.00	Low
8	فریمان Fariman	خراسان رضوی Razavi Khorasan	3	9	2	3	10	4	3	6	9	49	0.45	Medium
9	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	2	4	3	5	8	3	1	7	10	43	0.24	Low
10	کلات Kalat	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0	5	4	4	8	3	4	8	8	44	0.28	Medium
11	مانه و مسلمقان Mane-Samalghan	خراسان شمالی North Khorasan	1	20	2	5	10	5	3	13	3	62	0.90	Very high
12	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1	4	0	6	13	2	4	9	14	53	0.59	High
	مجموع Sum		14	120	33	68	121	43	28	92	89	14		

شاخص ریسک خشکسالی

نتایج شاخص ریسک خشکسالی در جدول ۱۲ ارائه شده است. تولید گندم دیم در شهرستان‌های فاروج، کلات، درگز، قوچان، نیشابور، تربت‌حیدریه با ریسک کم صورت می‌پذیرد و این ریسک در شهرستان‌های بجنورد، راز و جرگلان، فریمان، شیروان و مانه و سملقان متوسط است. از علل اصلی که گندم دیم در اکثر شهرستان‌های واقع‌شده در استان خراسان شمالی با ریسک متوسط تولید می‌شود، بالا بودن شاخص مخاطره خشکسالی در این شهرستان‌ها به‌ویژه در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ می‌باشد (جدول ۱۱). همچنین ریسک تولید گندم دیم در شهرستان سرخس زیاد می‌باشد.

شاخص ریسک خشکسالی تولید گندم دیم در کلیه شهرستان‌های استان خراسان شمالی به‌جز فاروج در رده متوسط قرار گرفته‌اند (جدول ۱۲). اسلامی و همکاران (Eslami, Mirisoliman, & Rashidi, 2021) نیز در مطالعه‌ای در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ دریافتند که حدود ۸۵ درصد سطح استان خراسان شمالی در سال‌های

مورد مطالعه تحت تأثیر آسیب‌پذیری متوسط تا شدید دارد. همچنین تقریباً ۷۵ درصد از کل سطح استان دارای ریسک خشکسالی متوسط تا شدید بوده است. در بین شهرستان‌های استان خراسان شمالی، شهرستان‌های شیروان و مانه و سملقان بیشترین ریسک تولید گندم دیم را دارند که نتایج مطالعه میری سلیمانی و همکاران (Mirisoliman, Ownegh, & Barani, 2020) نیز این نتیجه را تأیید می‌کند، همچنین این محققان عنوان نمودند که عامل ظرفیت نگهداری آب خاک، بیشترین وزن تأثیر را در بین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی دارد.

جدول ۱۲- شاخص ریسک خشکسالی استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی

Table 12- Drought risk rndex of the Razavi Khorasan and North Khorasan provinces

No.	شهرستان County	استان Province	امتیاز Score	رتبه Rank	کلاس Class
1	بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	0.34	6	Medium
2	تربت حیدریه Torbat-Heydarieh	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.19	7	Low
3	درگز Dargaz	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.00	10	Low
4	راز و جرگلان Raz-Jargalan	خراسان شمالی North Khorasan	0.35	5	Medium
5	سرخس Sarakhs	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.62	1	High
6	شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	0.43	3	Medium
7	فاروج Faruj	خراسان شمالی North Khorasan	0.00	12	Low
8	فریمان Fariman	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.36	4	Medium
9	قوچان Ghuchan	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.03	9	Low
10	کلات Kalat	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.00	11	Low
11	مانه و سملقان Mane- Samalghan	خراسان شمالی North Khorasan	0.50	2	Medium
12	نیشابور Neyshabur	خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.15	8	Low

علت ریسک کم تولید گندم دیم در شهرستان‌های کلات، درگز و قوچان، شاخص آسیب‌پذیری کم در این شهرستان‌ها است که یکی از علل تأثیرگذار، ظرفیت نگهداری بالای آب خاک در مزارع این شهرستان‌ها است (جدول ۵). همچنین شاخص مخاطره خشکسالی در این شهرستان‌ها کم و متوسط است که نشان‌دهنده وضعیت مطلوب میزان و پراکنش بارندگی نسبت به سایر شهرستان‌ها است (جدول ۸). تاتاری و همکاران نیز (Tatari, Koocheki, & Nassiri Mahalati, 2009) در مطالعه‌ای به بررسی پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های بارندگی و خاک پرداختند و دریافتند که بارندگی در ماه‌های اسفند، فروردین، خرداد و آبان و همچنین مقدار رطوبت خاک در مراحل FC و PWP و درصد رس خاک مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کننده عملکرد گندم دیم می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ریسک تولید گندم دیم در نیمی از شهرستان‌های مورد مطالعه، کم می‌باشد، یکی از شهرستان‌های استان خراسان شمالی و پنج شهرستان از استان خراسان رضوی در این رده قرار دارند و امتیاز شاخص در این شهرستان‌ها صفر تا ۰/۱۹ است. در سایر شهرستان‌های استان خراسان شمالی، گندم دیم با ریسک متوسط تولید می‌شود که امتیاز شاخص در آن‌ها ۰/۳۴ تا ۰/۵۰ می‌باشد و مقدار این شاخص در شهرستان سرخس زیاد است. نتایج

این مطالعه حاکی از این است که شاخص ظرفیت تطابق‌پذیری عامل مهمی در کاهش اثرات خشکسالی می‌باشد و شهرستان‌های درگز، فاروج و کلات که ریسک تولید گندم دیم در آن‌ها کم می‌باشد، ظرفیت نگهداری آب خاک مزارع آن‌ها به‌ترتیب ۱۲/۱۵، ۱۱/۷۱ و ۱۲/۴۲ می‌باشد. خاک، پیوند مهمی بین آب‌وهوا و گیاه برقرار می‌کند و در تعیین وقوع یا عدم وقوع خشکسالی کشاورزی نقش بسیار مهمی دارد. ظرفیت نگهداری آب در خاک به‌صورت مستقیم با ظرفیت سازگاری در شرایط خشکسالی مرتبط است (Murthy *et al*., 2015). همچنین آسیب‌پذیری خشکسالی تحت تأثیر سه جزء می‌باشد و هرکدام از این اجزاء می‌تواند اثر دیگری را تشدید کند یا تخفیف دهد. نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد که شهرستان‌های راز و جرگلان و درگز، هر دو به‌طور متوسط در معرض خشکسالی واقع شده‌اند، امّا این دو شهرستان به‌ترتیب در کلاس کمتر تطابق‌پذیر و تطابق‌پذیر هستند و در نهایت میزان شاخص آسیب‌پذیری آن‌ها بسیار متفاوت است و میزان آن به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۰۱ می‌باشد. ارزیابی ریسک روشی برای تعیین اندازه کمّی و کیفی ریسک‌ها و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی است و اولین گام برای انتخاب راهکار مناسب جهت مدیریت ریسک می‌باشد. این نکته حائز اهمیت است که مدیریت ریسک و اتخاذ راهکارهای خردمندانه در این حوزه بسته به ماهیت ریسک، ظرفیت کنشگران و نقش آن در زنجیره تأمین غذا تعریف و تعیین می‌گردد و لزوماً همراستا شدن برنامه‌های دولت و اتخاذ سیاست‌های واحد در این حوزه می‌تواند افزایش تاب‌آوری و انعطاف در تولید را محقق نماید. با توجه به افزایش قابل توجه تأثیرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی در سال‌های اخیر پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی بر شاخص ظرفیت تطابق‌پذیری تأکید بیشتری شود و براساس اهداف و همچنین ابعاد منطقه مورد مطالعه از عوامل مرتبط و مناسب استفاده گردد.

سپاسگزاری

از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌جهت تأمین اعتبار این پروژه مرتبط با رساله دکتری صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

1. Ahsan, M. N., & Warner, J. (2014). The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks–A case study in the south-western coastal Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *8*, 32-49. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2013.12.009
2. Antwi-Agyei, P., Fraser, E. D., Dougill, A. J., Stringer, L. C., & Simelton, E. (2012). Mapping the vulnerability of crop production to drought in Ghana using rainfall, yield and socioeconomic data. *Applied Geography*, *32*(2), 324-334. http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.010
3. Assimacopoulos, D., Kampragkou, E., Andreu, J., Bifulco, C., De Carli, A., De Stefano, L., & Musolino, D. (2014). Future drought impact and vulnerability. Case study scale. 20.
4. Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2020). Evaluating the performance of Era-5 Re-analysis data in estimating daily and monthly precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(11), 2937-2951 (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600
5. Birkmann, J. (2008). *Assessing vulnerability before, during and after a natural disaster in fragile regions: Case study of the 2004 Indian Ocean tsunami in Sri Lanka and Indonesia*: WIDER Research Paper. Helsinki: UNU-WIDER.
6. Deems, H. (2010). Vulnerability of rural communities in the Mediterranean region to climate change and water scarcity: The case of Cyprus. *Spain: Universitat Autònoma de Barcelona*.
7. Dabanli, I. (2018). Drought Risk Assessment by Using Drought Hazard and Vulnerability Indexes. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, *2018*, 1-15. https://doi.org/10.5194/nhess-2018-129.
8. Eslami, A., Mirisoliman, S. J., & Rashidi, M. (2021). Vulnerability analysis and identification of meteorological drought risk zones (Case research: North Khorasan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, *28*(3), 191-205. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jwsc.2022.18841.3434.
9. Gee, G., & Bauder, J. (1979). Particle size analysis by hydrometer: A simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. *Soil Science Society of America Journal*, *43*(5), 1004-1007. https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050038x.
10. Ghaseminejad, S., Soltani, S., & Soffianian, A. (2014). Drought risk assessment in Isfahan province. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *68*(18), 213-226. (in Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1393.18.68.19.4
11. Ghorbani, M. (2017). *Agricultural Insurance Principles*. Mashhad: Publications of Ferdowsi university of Mashhad. (in Persian with English abstract)
12. Gravandi, S., & Alibeygi, A. (2011). Determinants of Farmers' Risk Management in Kermanshah Township.

Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 42(2), 255-264. (in Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.20084838.1390.42.2.10.3.
13. Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35*(2), 311-322. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x
14. Habibi, Y., Azizi, J., & Shal, F. K. (2017). Role of Insurance in broiler farms risk management (A case of Rudbar County). *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD), 8*(3), 321-328.
15. Hardaker, J. B., Lien, G., Anderson, J. R., & Huirne, R. B. (2004). *Coping with risk in agriculture: Applied decision analysis*. London, UK: Wallingford: CABI Publishing.
16. IranMeteorologicaOrganization. (2022). *Retrieved from https://www.irimo.ir/far/index.php* .
17. Kim, H., Park, J., Yoo, J., & Kim, T. W. (2015). Assessment of drought hazard ,vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-Environment Research, 9*(1), 28-35. http://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003
18. Kirkham, M. (2011). Water dynamics in soils. In L. Jerry Hatfield and J. Thomas Sauer (Ed.), *Building a Stable Base for Agriculture* (pp. 53-65): American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
19. Ladányi, M. (2003). Risk methods and their applications in agriculture. *Applied Ecology and Environmental Research, 6*(1), 147-164.
20. Lakzian, A., AVAL, M. B., & Gorbanzadeh, N. (2010). Comparison of pattern recognition, artificial neural network and pedotransfer functions for estimation of soil water parameters. *Notulae Scientia Biologicae, 2*(3), 114-120. https://doi.org/10.15835/nsb234737.
21. Liu, X., Wang, Y., Peng, J., Braimoh, A. K., & Yin, H. (2013). Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: A case study in middle Inner Mongolia of China. *Chinese Geographical Science, 23*, 13-25. https://doi.org/10.1007/s11769-012-0583-4.
22. Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science, 333*(6042), 616-620. https://doi.org/10.1126/science.1204531
23. Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., Bech, J., & Rodrigo, F. S. (2018). Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012. *Atmospheric Research, 200*, 153-168. http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016.
24. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales.* Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
25. MinistryofAgricultureofIran. (2023). *Retrieved from https://www.maj.ir/*.
26. Mirisoliman, J., Ownegh, M., & Barani, H. (2020). Zoning of meteorological drought risk in customary Kormanj nomadic territories of North Khorasan. *Journal of Arid Biome, 10*(1), 109-125. (in Persian with English abstract).
27. Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology, 391*(1-2), 202-216 . http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012.
28. Mohammadi Ghaleni, M., & Sharafi, S. (2022). Evaluation of CRU TS4. 05 and ERA5 Datasets accuracy to precipitation, temperature and potential evapotranspiration in different climates across Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 16*(5), 879-890. (in Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.5.15.0.
29. Murthy, C., Yadav, M., Mohammed Ahamed, J., Laxman, B., Prawasi, R., Sesha Sai, M., & Hooda, R. (2015). A study on agricultural drought vulnerability at disaggregated level in a highly irrigated and intensely cropped state of India. *Environmental Monitoring and Assessment, 187*, 140. http://10.1007/s10661-10015-14296-x.
30. Parvaze, S., Khan, J. N., Kumar, R., & Allaie, S. P. (2021). Flood forecasting in the sparsely gauged jhelum river basin of greater himalayas using integrated hydrological and hydraulic modelling approach. Available at Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-461873/v1
31. Pereira, L. D., Rocha, J. D., Debortoli, N., Parente, I. I., Eiró, F., Bursztyn, M., & Rodrigues-Filho, S. (2014). Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: A case study in Ceará. *Climatic Change, 127*, 93-105. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1116-1
32. Rejoice, T. (2003). Rainfall reliability, drought and flood vulnerability in Botswana. *Water Sa, 29*(4), 389-392 . https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5043
33. Şen, Z. (2015). *Applied drought modeling, prediction, and mitigatio:* Elsevier.
34. Shahabfar, A., Ghulam, A., & Eitzinger, J. (2012). Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18*, 119-127. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.011.
35. Sharafi, L., Zarafshani, K., Keshavarz, M., Azadi, H., & Van Passel, S. (2020). Drought risk assessment: Towards drought early warning system and sustainable environment in western Iran. *Ecological Indicators, 114*, 106276. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106276
36. Subash, N., Mohan, H. R., & Banukumar, K. (2011). Comparing water-vegetative indices for rice (*Oryza sativa* L.)–wheat (*Triticum aestivum* L.) drought assessment. *Computers and Electronics in Agriculture, 77*(2), 175-187. https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.05.001.
37. Tatari, M., Koochekian, A., & Nassiri Mahalati, M. (2009). Dryland wheat yield prediction using precipitation and

edaphic data by applying of regression models. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *7*(2), 357-365. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.2.3.3.
38. Unger, P. W., Kirkham, M. B., & Nielsen, D. C. (2010). Water conservation for agriculture. In T. M. a. S. Zobeck, W.F. (Ed.), *Soil and water conservation advances in the United States* (pp. 1-45): Soil Science Society of America.
39. Van Wart, J., Grassini, P., & Cassman, K. G. (2013). Impact of derived global weather data on simulated crop yields. *Global Change Biology*, *19*(12), 3822-3834. https://doi.org/10.1111/gcb.12302.
40. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29-38. http://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003.
41. Wilhelmi, O. V., & Wilhite, D. A. (2002). Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. *Natural Hazards*, *25*(1), 37-58. https://doi.org/10.1023/A:1013388814894
42. Wilhite, D. A. (2000). *Drought as a Natural Hazard: Concepts And Definitions* New York: Routledge Publishers.
43. Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legates, D. R., O'donnell, J., Rowe, C. M. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *90*(C5), 8995-9005. https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995
44. WorldBank. (2015). *World development indicators. Retrieved from http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators*.
45. WorldBank. (2016). *Agricultural sector risk assessment: methodological guidance for practitioners. Agriculture global practice discussion paper*. World Bank, Washington, DC, 10.
46. Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2018). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, *57*(9), 2501-2519.
47. Yuan, X.-C., Wang, Q., Wang, K., Wang, B., Jin, J.-L., & Wei, Y.-M. (2013). China’s regional vulnerability to drought and its mitigation strategies under climate change: data envelopment analysis and analytic hierarchy process integrated approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *20*, 341-359. https://doi.org/10.1007/s11027-013-9494-7
48. Zhao, J., Zhang, Q., Zhu, X., Shen, Z., & Yu, H. (2020). Drought risk assessment in China: evaluation framework and influencing factors .*Geography and Sustainability*, *1*(3), 220-228. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.06.005